Aus dem Institut für Leistungsmedizin Berlin und
der Forschungsstätte für Sportmedizin im Institut
für Leibeserziehung der Freien Universität Berlin

Leiter: Prof. Dr. med. H. Mellerowicz

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE MAXIMALE SAUERSTOFFSCHULD BEI UNTRAINIERTEN UND TRAINIERTEN 20 - 40 JÄHRIGEN MÄNNERN UNTER LEISTUNGSUMSATZBEDINGUNGEN BEI MAXIMALER ERGOMETRISCHER ARBEIT

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Gisela Helbing
aus Frankfurt/Oder

1966

Aus dem Institut für Leistungsmedizin Berlin und
der Forschungsstätte für Sportmedizin im Institut
für Leibeserziehung der Freien Universität Berlin
Leiter: Prof. Dr. med. H. Mellerowicz

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE MAXIMALE SAUERSTOFFSCHULD BEI UNTRAINIERTEN UND TRAINIERTEN 20 - 40 JÄHRIGEN MÄNNERN UNTER LEISTUNGSUMSATZBEDINGUNGEN BEI MAXIMALER ERGOMETRISCHER ARBEIT

Inaugural - Dissertation
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an der
Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Gisela Helbing
aus Frankfurt/Oder

Dekan: Professor Dr. med Wilhelm Maßhoff

Referent: Professor Dr. med. Harald Mellerowicz

Korreferent: Professor Dr med. Otto H. Gauer

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Freien Universität Berlin.

Promoviert am: 23. 2. 1966

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
I.	Einleitung und Begründung der Arbeit	5
II.	Die Sauerstoffschuld in ihrer Beziehung zur Leistungsfähigkeit des Organismus	6
III.	Methodik	
	a) Untersuchungsgut und Untersuchungsbedingungen	10
	b) Messung der Herzschlagfrequenz, des Atemzeitvolumens, der O_2-Aufnahme und der CO_2-Abgabe	12
	c) Kritik der Methodik	15
	d) Statistische Auswertung	17
IV.	Darstellung der Ergebnisse	18
	a) Vergleichende Meßergebnisse der Sauerstoffschuld	18
	b) Vergleichende Meßergebnisse der Herzschlagfrequenz, der O_2-Aufnahme, der CO_2-Abgabe, des Atemzeitvolumens und des Respiratorischen Quotienten	21
V.	Beurteilung der Ergebnisse	33
VI.	Zusammenfassung	37
VII.	Verzeichnis der Abkürzungen	38
VIII.	Literatur	39

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546527_0102

I. EINLEITUNG UND BEGRÜNDUNG DER ARBEIT

Einen Einblick in die leistungsphysiologischen Verhältnisse des trainierten und untrainierten Organismus zu bekommen, ist wesentliches Anliegen der Sportmedizin. Aus diesem Aufgabenkomplex interessiert besonders die Frage nach den leistungsbegrenzenden physiologischen Faktoren des menschlichen Organismus, speziell die Frage, inwieweit es durch ein systematisches Training möglich ist, die Leistungsgrenzen weiter hinaufzusetzen.

Besonderes Interesse fand die Gegebenheit, daß der Organismus auch bei unzureichender Sauerstoffversorgung der arbeitenden Muskeln noch leistungsfähig bleibt. Von HILL (23,24,25) wurde in den zwanziger Jahren der Begriff der "Sauerstoffschuld" geprägt. In der Folgezeit beschäftigten sich zahlreiche Untersucher mit diesem Problem.

Bei Durchsicht der Literatur kann man immer wieder Unklarheiten in der Bestimmung und Deutung des Begriffes der "Sauerstoffschuld" feststellen. Auch die quantitativen Angaben über die Höhe der maximalen Sauerstoffschuld, die vom Organismus eingegangen werden kann, sind sehr unterschiedlich.

Mit den vorliegenden Untersuchungen soll versucht werden, einen Beitrag zur Klärung folgender Frage zu geben: Welche quantitativen Unterschiede bestehen beim Eingehen einer maximalen Sauerstoffschuld zwischen Trainierten und Untrainierten? Hierbei sollen die Beziehungen zwischen dem Verhalten der Herzschlagfrequenz, des Atemzeitvolumens, der O_2 - Aufnahme, der CO_2-Ausscheidung, des respiratorischen Quotienten und der O_2-Schuld untersucht werden.

II. DIE SAUERSTOFFSCHULD IN IHRER BEZIEHUNG ZUR LEISTUNGSFÄHIGKEIT DES ORGANISMUS

Auch bei völliger Ruhe braucht die Muskelfaser zur Aufrechterhaltung ihrer Struktur und ihrer Funktion eine dauernde Zufuhr von Energiestoffen, die sich bei Muskelarbeit beträchtlich erhöht. Im Vergleich zu den Ruhewerten kann die Steigerung des Stoffwechsels annähernd den 10 - 20 fachen Wert erreichen (46). Bei sportlichen Höchstleistungen wurde ein Energieverbrauch bis zu 22 kcal/min festgestellt (42).

Zu Beginn einer Muskelarbeit ist eine ausreichende Versorgung der Muskelfasern mit Sauerstoff noch nicht gegeben. Kreislauf und Atmung können sich nicht so schnell auf ein Niveau einstellen, das eine ausreichende Sauerstoffversorgung der Muskulatur gewährleistet. Trotz dieser Lücke zwischen Bedarf und Angebot ist eine Muskelarbeit möglich. Durch die Ausnützung ihrer anaeroben Energiereserven zu Beginn einer Muskelarbeit kann die Muskelzelle sofort den Mehrbedarf an Energie decken. Die Wiederherstellung der Vorräte von ATP und von Kreatinphosphorsäure, sowie die Beseitigung der Milchsäure, kann aber nur unter aeroben Bedingungen erfolgen.

Genügt das während einer submaximalen körperlichen Arbeit aufgenommene O_2-Volumen zur oxydativen Beseitigung der anaerob entstandenen Spaltprodukte - mit Ausnahme der in der Anlaufphase entstandenen - so spricht man nach HILL (24) von einem "steady state". Die in der Anfangsperiode der Arbeit (vor Einstellung des Gleichgewichtes zwischen Sauerstoffversorgung und Sauerstoffbedarf) entstandenen anaeroben Stoffwechselprodukte sollen erst nach Beendigung der Arbeit oxydiert werden (23,5). Die hierzu notwendige Sauerstoffmenge bezeichnet HILL als "Sauerstoffschuld" (oxygen-debt).

Nach MEYERHOF, SIMONSON und SIRKINA und CHRISTENSEN und HÖGBERG (39, 50, 14) wird der zu Beginn einer Arbeit zu we-

nig aufgenommene Sauerstoff als "Sauerstoff-Defizit" bezeichnet. Es entsteht in den ersten 2 - 6 Minuten der Arbeit. Dann haben sich bei submaximaler Arbeit Ventilation und Kreislauf soweit eingestellt, daß sie den erhöhten Sauerstoffbedarf der Muskulatur decken können.

Zunächst wurde angenommen (15, 17, 18), daß bei einer steady state-Arbeit die Sauerstoffaufnahme ein bestimmtes Niveau erreicht und dann konstant bleibt, wobei die O_2-Schuld dem in der Anfangsphase fehlenden O_2-Volumen entspricht. Der von PASARGIKLIAN, CORNIA und DE MATTEIS (41) aufgestellte Begriff der "aerobischen Maximalarbeit (a. M. A.)" unterstützt diese Ansicht. Sie verstehen darunter diejenige körperliche Arbeit, die ohne zusätzliche O_2-Schuld ausgeführt werden kann. Die O_2-Schuld darf also bei dieser Arbeit nicht größer sein als das O_2-Defizit.

Bei leichterer Arbeit (45) bzw. bei jeder Arbeit im steady state (22), soll sogar das O_2-Defizit, wenigstens teilweise, abgetragen werden können (s. auch 6). Deshalb spricht HERXHEIMER (20, 22) bei einer O_2-Aufnahme, die nach steady state-Arbeit beobachtet wird, auch nicht von O_2-Schuld. Er hält sie vielmehr für eine "Luxuskonsumption, die zum Arbeitsschluß gehört, wie das Auslaufen einer abgestellten Maschine."

Bei Untersuchungen an Läufern fanden CHRISTENSEN und HÖGBERG (13), daß der O_2-Bedarf in der ersten Arbeitsminute am größten ist. Im weiteren Arbeitsverlauf nimmt er ab und stellt sich auf einen konstanten Wert ein (Abb. 1; siehe auch 7). Der große O_2-Bedarf zu Arbeitsbeginn wird darauf zurückgeführt, daß die Energielieferung zunächst überwiegend anaerob erfolgt. Der Wirkungsgrad anaerober Prozesse ist jedoch nur halb so groß wie der der aeroben (45, 6). Deshalb ist nach ROSSIER, BÜHLMANN und WIESINGER "die O_2-Schuld nicht gleich dem Defizit, sondern beträgt bis zu mittleren Leistungen nahezu das Doppelte...." (siehe auch 6).

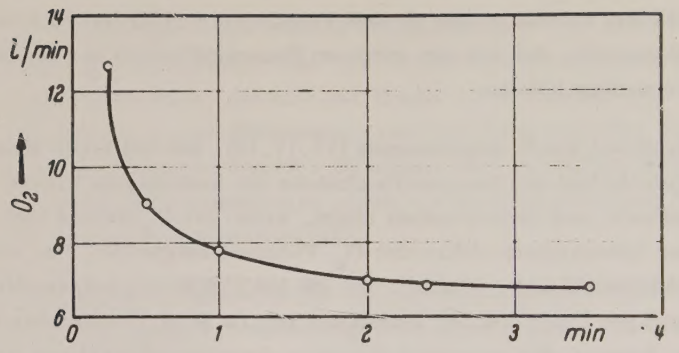

Abb. 1 Der O_2-Bedarf bei verschiedener Leistungsdauer und gleicher Laufgeschwindigkeit (20 km/h). (nach Christensen und Högberg)

Wesentlich anders liegen die Verhältnisse bei einer maximalen Arbeit. Hier wird in keiner Phase ein Gleichgewicht zwischen Sauerstoffbedarf und Sauerstoffzufuhr erreicht. Man bezeichnet solche Leistungen auch als "unsteady state" Leistungen. Die Sauerstoffaufnahme bleibt immer mehr hinter dem Sauerstoffbedarf zurück. Mit noch ansteigendem AZV wird die größtmögliche Sauerstoffaufnahme/min, d.h. die maximale O_2-Transportkapazität des Blutes erreicht. Die O_2-Aufnahme bleibt konstant und ein steady state kann vorgetäuscht werden. Bereits bei einer O_2-Aufnahme, die größer ist als 2 l/min sollen keine steady state Bedingungen mehr gegeben sein (45). Durch Zunahme der sauren Stoffwechselprodukte (z. B. Milchsäure, Brenztraubensäure, β-oxy-Buttersäure, α-keto-Glutarsäure) infolge des zunehmenden anaeroben Energiestoffwechsels wird schließlich die maximale O_2-Schuld erreicht und ein Abbruch der Arbeit durch Erschöpfung erzwungen.

Die maximale O_2-Schuld setzt sich also aus dem O_2-Defizit und jenem O_2-Bedarf zusammen, der durch die O_2-Aufnahme während der Arbeit nicht gedeckt werden kann. Sie beträgt nach den Angaben in der Literatur etwa 15 - 20 l (24, 26, 48, 8).

Die maximale O_2-Schuld scheint uns ein wichtiges Kriterium für die Leistungsfähigkeit von Untrainierten und Trainierten zu sein. Deshalb soll sie in dieser vergleichenden Untersuchung besonders berücksichtigt werden.

III. METHODIK

III. a) Untersuchungsgut und Untersuchungsbedingungen

Die Untersuchungen wurden von November bis Februar in der Zeit zwischen 13 und 15 Uhr durchgeführt. Die durchschnittliche Raumtemperatur lag zwischen 18 und 20° C, der Barometerstand zwischen 755 und 765 mm Hg, die relative Luftfeuchtigkeit zwischen 52 und 59%. Sämtliche Werte wurden auf STPD (0° C, 760 mm Hg, Trockenheit) bzw. BTPS (37° C, 760 mm Hg, Wasserdampfsättigung) Bedingungen umgerechnet.

Untersucht wurden:

1) 32 untrainierte gesunde Männer im Alter von 20 - 40 Jahren
2) 11 trainierte gesunde Männer im Alter von 20 - 40 Jahren. Sie stammten aus folgenden Sportdisziplinen:
   - 1 ehemaliger deutscher Meister (100 m und 200 m)
   - 1 Olympiateilnehmer 1960 im 800 m Lauf (Deutscher Meister 1000 m Staffel)
   - 2 weitere Teilnehmer der 1000 m Meisterstaffel 1960
   - 1 1500 m Läufer (Berliner Meister)
   - 2 Langstreckenläufer
     Berliner Waldlaufmeister, 10 000 m Läufer
   - 1 Europameister und Deutscher Meister im Mittelgewicht (Boxen)
   - 3 Radfahrer:
     mehrfacher Berliner Meister und Sieger zahlreicher Etappenrennen und Tagesrennen; Teilnehmer der Radweltmeisterschaft 1960, Berliner Meister der Amateurstraßenfahrer, 2. Deutscher Meister 1961 "quer-feld-ein"; Teilnehmer beim Berliner Mannschaftsmeister 1959, 2. Deutscher Meister (Mannschaft 100 km) 1959; später wurde einer dieser Fahrer Deutscher Meister der Berufsstraßenfahrer.

Folgende Leistungs-Umsatzbedingungen wurden bei sämtlichen Probanden eingehalten (38):

a) am Untersuchungstag war bis zu 3 Stunden vor der Untersuchung eine kleine Kohlehydratmahlzeit erlaubt. Genußmittel und Medikamente wurden auch bereits an den Vortagen vermieden.

b) große körperliche Beanspruchungen am Vortage, sowie kleinere am Untersuchungstag selbst, wurden ebenfalls vermieden.
c) vor Beginn der Untersuchung konnten sich die Probanden auf einer bequemen Liege 20 - 30 Minuten ausruhen.
d) die Hautoberfläche der Vp war so weit wie möglich frei. Unsere Untersuchungen wurden in Sportkleidung (Turnhose, freier Oberkörper) vorgenommen.

Sämtliche Untersuchungen führten wir mit dem Universal-Dynamo-Ergometer der Fa. Lauckner, Berlin, durch. Untersucht wurde nur im Stehen. Die Kurbelhöhe betrug 1 m, die Kurbellänge 30 cm. Das Ergometer arbeitet mit Fremdstromerregung und läßt sich auf 3 Widerstandsstufen einschalten. Wir benutzten die Widerstandsstufe II, die in den eingestellten Wattstufen die ökonomischsten Drehzahlen ermöglichte.

Die Probanden hatten eine einfache optische Möglichkeit zur Kontrolle der eingestellten Leistung. Die Leistung wurde an einem Wattmeter mit einem roten Kontrollzeiger eingestellt. Dieser Zeiger ließ sich beim Übergang in eine höhere Wattstufe fortlaufend weiter stellen. Während der Arbeit mußte sich der bewegliche Wattzeiger mit dem Kontrollzeiger decken. Eine zusätzliche Kontrolle ermöglichte ein eingebautes Drehzahlwerk. Nach jeder Arbeitsminute wurde die Zahl der Umdrehungen abgelesen.

Der Versuch begann mit einer Leistung von 100 Watt für zwei Minuten, die jeweils um 50 Watt für die nächsten zwei Minuten bis zum individuellen Grenzwert von 300 - 400 Watt gesteigert wurde.

Unter wettkampfmäßigen Bedingungen wurde bis zur Erschöpfung gearbeitet. Die Herzschlagfrequenzen lagen am Ende der Leistung mit durchschnittlich 190/min (untrainierte Männer) bzw. 186/min (trainierte Männer) im Bereich der maximalen Leistungsherzschlagfrequenzen von 160 - 200/min (3,16,28,36,44,51,53). Der respiratorische Quotient als Kriterium für eine maximale körperliche Dauerleistung erreichte bei Untrainierten und Trainierten am Ende der Leistung einen Wert von ca. 1 (5,29,36).

III . b) Messung der Herzschlagfrequenz, des Atemzeitvolumens, der O_2-Aufnahme und CO_2-Abgabe

Zur Messung der Herzschlagfrequenz (HF) wurde den Vp ein 20 cm breites Gummiband um den Thorax gelegt. Dabei wurde die Atmung nicht behindert; die Vitalkapazität (VK) war nicht eingeschränkt. Mit Hilfe des gelochten Gummibandes konnte direkt über der Herzspitze ein Stethoskop befestigt werden. Mit einer Stoppuhr maßen wir kurz vor Ende jeder einzelnen Arbeitsminute die Dauer von 10 Herzperioden und berechneten aus dem gefundenen Wert die Minutenfrequenz.

Die Messung des AZV, der O_2-Aufnahme und CO_2-Abgabe erfolgte bei fortlaufender Registrierung über ein offenes System. Die AZV-Messung wurde mittels einer geeichten Gasuhr vorgenommen. Die Atemfrequenz konnte durch den bei jedem Atemzug vorrückenden Zeiger mitgezählt werden.

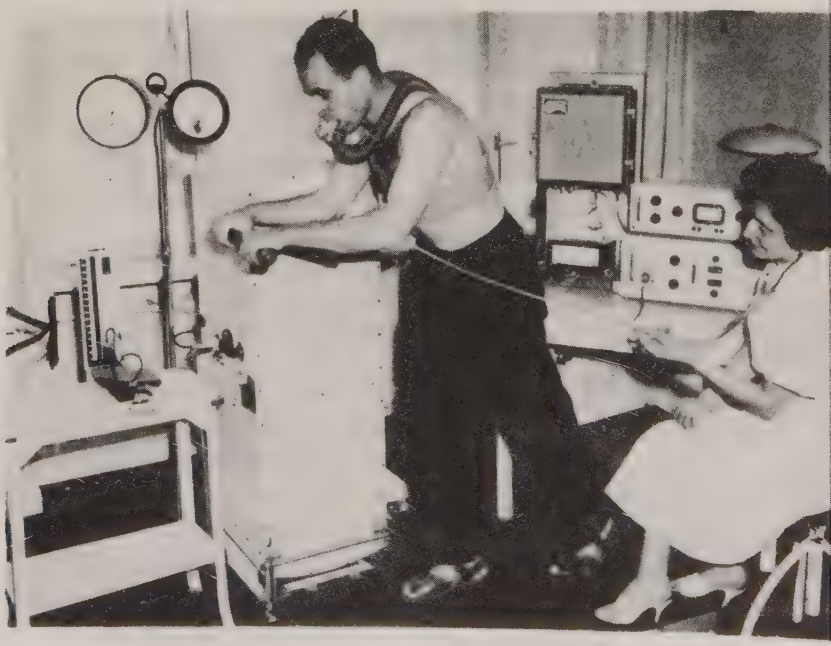

Abb. 2: Versuchsanordnung bei ergometrischer Handkurbelarbeit im Stehen (mit Lauckner-Universal-Ergometer und Uras und Magnos von Haftmann und Braun).

Zur Messung des O_2-Verbrauches benutzten wir den MAGNOS 5 der Fa. Hartmann und Braun, Frankfurt/Main. Der CO_2-Gehalt der Exspirationsluft wurde durch den URAS M der gleichen Firma fortlaufend angezeigt.

Der URAS M arbeitet nach dem Prinzip der Absorption infraroter Strahlen. CO_2 absorbiert bestimmte Bereiche aus dem Infrarotspektrum, die man als "Absorptionsbanden" bezeichnet. Im Uras wird nun ein Infrarotstrahl durch das zu untersuchende Gasgemisch geleitet. Proportional der CO_2-Konzentration eines Gases tritt eine mehr oder weniger starke Absorption des Infrarotstrahles auf. Auf einer Skala kann dann der prozentuale CO_2-Gehalt direkt abgelesen werden. Vor Versuchsbeginn wurde die Anzeigegenauigkeit des Uras M mit einem Eichgas bekannter Zusammensetzung geprüft.

Die Messung des O_2-Verbrauches durch den MAGNOS 5 erfolgt nach folgendem Prinzip: Das Meßgas wird in das Feld eines kräftigen Magneten gesaugt. Sauerstoff ist paramagnetisch und unterscheidet sich hierdurch von den anderen Gasen der Luft. Ein elektrisch geheizter Draht erwärmt das ihn umgebende Meßgas. Infolge dieser Erwärmung nimmt der Paramagnetismus ab. Das Magnetfeld zieht also vor allem das k a l t e Gas zu den Stellen größter Feldstärke, so daß das von dem Heizdraht erwärmte Gas aus dem Feld herausgedrückt wird. So bildet sich schließlich eine stetige Strömung aus, die als "magnetischer Wind" bezeichnet wird. Die Geschwindigkeit dieses "magnetischen Windes" führt zu einer Abkühlung des Heizdrahtes und somit zu meßbaren Widerstandsänderungen, die dem O_2-Gehalt des Gases proportional sind. Vor Beginn der Messungen wurde der Magnos auf den bekannten O_2-Gehalt der Luft von 20,93 % geeicht. Der O_2-Gehalt in % kann dann direkt an einer Skala mit einem Meßfehler von $\pm$ 0,14% nach Angaben der Fa. Hartmann und Braun abgelesen werden.

Wie bereits erwähnt, erfolgten sämtliche Versuche bei ergometrischer Arbeit im Stehen. Nachdem der Proband mit der Untersuchungsmethode vertraut gemacht worden war, wurde er an das

Meßsystem angeschlossen. Mehr oder weniger war bei allen Untersuchten in den ersten Minuten eine psychische Erregung festzustellen. Der größte Teil der Probanden hyperventilierte. Es wurde bis zur vollkommenen Beruhigung abgewartet, die meist erst nach mehreren Minuten eintrat. Nach Beginn der Messungen warteten wir drei weitere Minuten und registrierten dabei die Ruhewerte im Minutenabstand. Gegen Arbeitsende waren die Vp hochgradig erschöpft. Die Registrierung der biologischen Größen erfolgte in der Regel bis 30 Minuten nach Arbeitsende im Sitzen. Waren die Ruhewerte dann noch nicht erreicht, so nahmen wir für weitere 15 Minuten Messungen vor.

Die Höhe der Sauerstoffschuld wurde dann aus der Sauerstoffkurve, die auf STPD-Bedingungen umgerechnet wurde, ermittelt. Dabei wurde die Erholungs-Sauerstoffaufnahme nach der Arbeit für jede Minute bestimmt und hiervon die durchschnittliche Ruhe-Sauerstoffaufnahme vor Versuchsbeginn abgezogen. In der Regel war die Sauerstoffaufnahme nach der Arbeit zwischen der 30. und 45. Minute auf dem Ruhewert angelangt. Die für jede Erholungsminute errechneten Mehraufnahmen wurden addiert. Das ergab den summarischen Wert für die Sauerstoffaufnahme.

I . c) Kritik der Methodik

Die Gruppe der Trainierten ist klein und hinsichtlich ihres Trainingszustandes inhomogen. Sie umfaßt sowohl Probanden, die sich einem Dauerleistungstraining, einem Mittelstreckentraining sowie einem Kurzstreckentraining unterzogen hatten. Da die Untersuchungen in den Wintermonaten durchgeführt wurden, befand sich die Mehrzahl der Gruppe der Trainierten sicher nicht in Höchstform. Das zeigen auch die verhältnismäßig kleinen Werte der maximalen O_2-Aufnahme.

Bei den Untersuchungen wurde die Ruhe-O_2-Aufnahme unter den genannten Leistungs-Umsatzbedingungen gemessen. Die Vergleichbarkeit unserer Untersuchungsergebnisse mit denen anderer Untersuchungen ist eingeschränkt, weil die Untersuchungsbedingungen unterschiedlich waren bzw. sogar nicht genau angegeben wurden.

Autor	Max. O_2-Schuld in l	Untersuchungsgut und Zahl der Vp	Untersuchungsbedingungen STPD
NÖCKER	18 - 20	Jugendl. u. Erwachsene	nicht angegeben
KNIPPING und HOLLMANN	16,7	"nach eigenen Untersuchungen"	
HANSEN	10,7	7 train. Erwachsene (Feuerwehr)	Treppensteigen u. Radfahren (gemessen am Kroghschen Ergometer) nicht angegeben
BYKOW	22,8	trainierte Erwachsene	nicht angegeben

Tab. I Autoren, Untersuchungsgut und Untersuchungsbedingungen zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffschuld.

Die Registrierung der Pulsfrequenz mit der Stoppuhr bei Auskultation der Herzschlagfrequenz hat zwangsläufig einen methodischen Fehler, der einmal in der Ablesegenauigkeit der Stoppuhr, in der subjektiven Fehlerbreite und durch das Drücken der Stoppuhr in nicht exakt gleicher Phase der Herzaktionen liegt. Entsprechend der Pulsfrequenz liegt die Fehlerbreite bei $\pm$ 3%. Hier sei auf die ausführlichen Angaben durch MELLEROWICZ und LERCHE (37) verwiesen.

III. d) Statistische Auswertung

Bei der statistischen Auswertung wurden die Mittelwerte der einzelnen Vergleichsreihen nach der folgenden Formel berechnet:

$$M = \frac{x_1 + x_2 + x_3 \dots + x_n}{n}$$

Die mittlere Abweichung vom Durchschnittswert σ_x beträgt:

$$\sigma_x = \pm \sqrt{\frac{(M - x_1)^2 + (M - x_2)^2 + \dots (M - x_n)^2}{n}}$$

Mittlerer Fehler des Mittelwertes:

$$\sigma_M = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

Die Differenzen der Vergleichsreihen wurden auf ihre statistische Signifikanz geprüft nach der Formel:

$$\sigma_{Diff} = \pm \sqrt{\sigma^2 M_1 + \sigma^2 M_2}$$

Ein statistisch gesicherter Unterschied liegt dann vor, wenn die Differenzen der Mittelwerte zweier Vergleichsreihen größer sind als $3\,\sigma_{Diff}$.

Aus diesen Werten wurden zur weiteren statistischen Sicherung der Signifikanzen die p-Werte aus den Tabellen nach Student und Fischer ermittelt. Bei biologischen Vergleichsgruppen besteht eine Signifikanz, wenn $p < 0,001$ und eine wahrscheinliche Signifikanz bei einem $p < 0,05$.

IV. DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE

IV. a) Vergleichende Meßergebnisse der Sauerstoffschuld

Die Meßergebnisse der maximalen O_2-Schuld sind in den Tabellen II und III sowie in den graphischen Darstellungen 3 und 4 dargestellt.

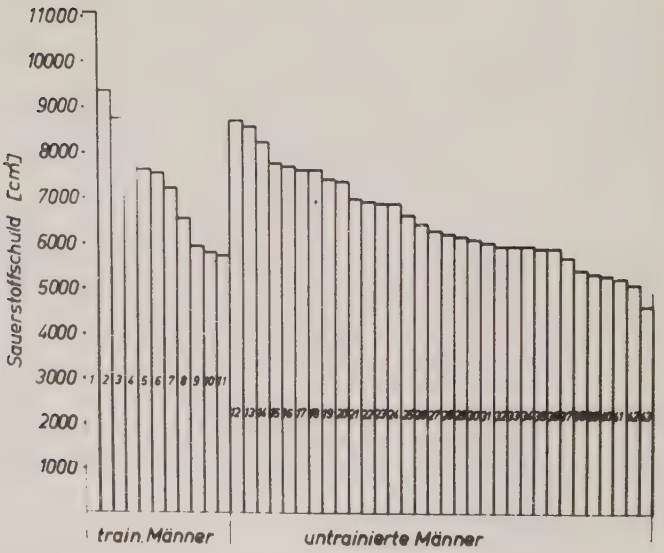

Abb. 3 Die Größe der Sauerstoffschuld in ccm von 11 trainierten und 32 untrainierten Männern im Alter von 20 - 40 Jahre nach einer ergometrischen Belastung in steigenden Wattstufen bis zur individuellen Erschöpfung.

Trainierte Männer	Untrainierte Männer	
11 027 Mittelgewicht (Boxen)	8 668	6 195
9 330 Kurzstreckenläufer	8 518	6 116
8 737 Radfahrer	8 235	6 082
8 613 Mittelstreckenläufer	7 728	6 010
7 557 Mittelstreckenläufer	7 692	5 960
7 487 Mittelstreckenläufer	7 673	5 957
7 191 Langstreckenläufer	7 631	5 934
6 484 Langstreckenläufer	7 441	5 873
5 937 Radfahrer	7 354	5 852
5 768 Radfahrer	6 972	5 671
5 725 Mittelstreckenläufer	6 894	5 411
	6 886	5 320
	6 886	5 253
	6 638	5 225
	6 424	5 037
	6 269	4 595

Tab. II Zusammenstellung der Einzelwerte der maximalen Sauerstoffschuld trainierter und untrainierter Männer mit Angabe der Sportart (11 trainierte und 32 untrainierte Männer).

Die Werte lassen deutlich einen Abfall der maximalen Sauerstoffschuld von den durchschnittlich höheren Werten trainierter Männer zu denen untrainierter Männer erkennen. Diese Verhältnisse werden noch deutlicher, wenn man die Durchschnittswerte für die Sauerstoffschuld von jeder Versuchsgruppe betrachtet (Tab. III).

	Trainierte Männer	Untrainierte Männer
Mittelwert in ccm	7623	6513
2σ in ccm	3385	2104

Tab. III Die Mittelwerte der Sauerstoffschuld in cm^3 (STPD) bei trainierten und untrainierten Männern.

Die von uns untersuchten trainierten Männer konnten also gegenüber den untrainierten durchschnittlich eine um 1110 cm^3 größere Sauerstoffschuld eingehen. Das ist ein um 17% höherer Wert.

Der $\pm 2\sigma$ Bereich in den einzelnen Gruppen lag zwischen folgenden Werten:

Trainierte Männer	4 238 - 11 008
Untrainierte Männer	2 221 - 8 429

Bei den trainierten Männern fiel ein Wert an der oberen Grenze stärker heraus. In den anderen Gruppen lagen alle gefundenen Werte innerhalb des $\pm 2\sigma$ Bereiches.

Die σ-Werte lagen bei den trainieren Männern bei 1 693 cm^3; bei den untrainierten bei 1 052 cm^3. Ein statistisch gesicherter Unterschied der einzelnen Meßreihen besteht nur, wenn $3\sigma_{Diff}$ kleiner ist, als der Unterschied zwischen den Mittelwerten zweier zu vergleichender Reihen.

σ_{Diff} ergab bei den beiden Gruppen: trainierte Männer/untrainierten Männern einen Wert von 0,5. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen konnte somit ausreichend statistisch gesichert werden ($p < 0,05$).

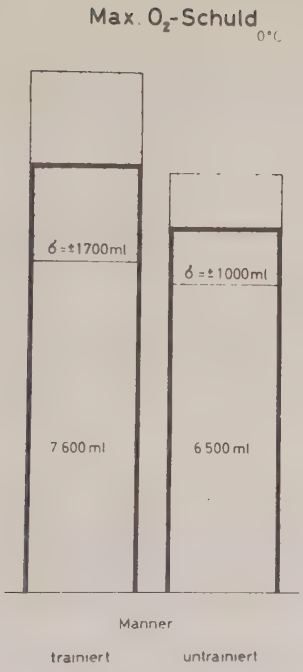

Abb. 4 Vergleichende Darstellung der durchschnittlichen maximalen Sauerstoffschuld bei ergometrischer Arbeit im Stehen von 11 Hochleistungssportlern und 32 untrainierten Männern.

b) Vergleichende Meßergebnisse der Herzschlagfrequenz (HF), der O_2-Aufnahme, der CO_2-Abgabe, des Atemzeitvolumens (AZV) und des respiratorischen Quotienten (RQ)

Das Verhalten dieser Funktionsgrößen ist in den Tabellen Nr. IV bis Nr. VII und in den Abbildungen Nr. 5 bis Nr. 12 dargestellt.

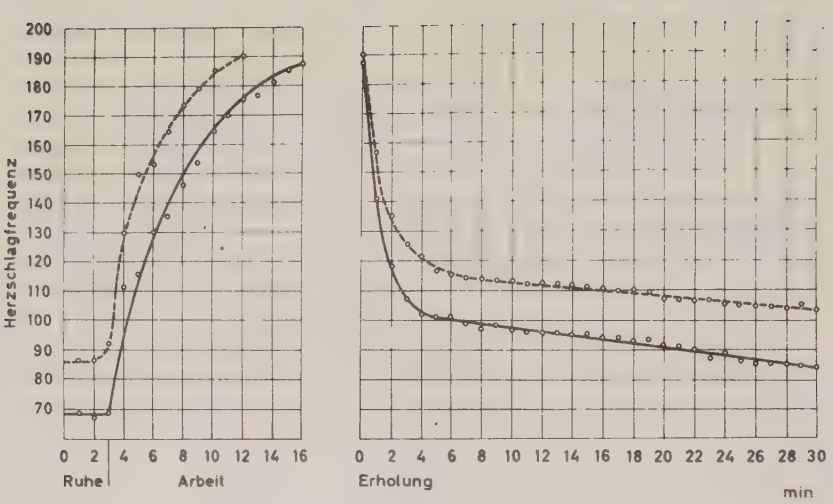

Abb. 5 Das Verhalten der durchschnittlichen Herzschlagfrequenz bei ergometrischer Arbeit im Stehen in steigenden Wattstufen bis zur individuellen Erschöpfung und während einer anschließenden Erholung von 30 Minuten bei 11 Hochleistungssportlern (———) und 32 untrainierten Männern (----) im Alter von 20 - 40 Jahren.

Bei der Betrachtung des Kurvenverlaufes der Herzschlagfrequenz der trainierten und untrainierten Männer wird die kleinere Ruhe- und Leistungsherzschlagfrequenz der Trainierten deutlich erkennbar. Durchschnittlich lagen die Werte der Untrainierten erheblich über denen der Trainierten.

Der größte Teil der untrainierten Männer arbeitete bis einschließlich zur 9. Minute, in der eine Leistung von 300 Watt gefordert wurde. Die Herzschlagfrequenz der untrainierten Männer erreichte hier ihr durchschnittliches Maximum mit 180 Schlägen/min. Bei der gleichen Leistung liegt die der trainierten Männer wesentlich niedriger. Sie erreichen ihr Maximum in der 13. Arbeitsminute mit 186 Herzschlägen/min.

In der Erholung erfolgt der Abfall der Kurve zu Beginn bei den Trainierten schneller als bei den Untrainierten. Von der vierten Erholungsminute an ist bei beiden Gruppen ein geringer, gleichsinniger Abfall der Kurven zu vermerken. Nach 30 Minuten haben die Trainierten eine mittlere Herzschlagfrequenz von 83, die Untrainierten eine mittlere Herzschlagfrequenz von 103 erreicht.

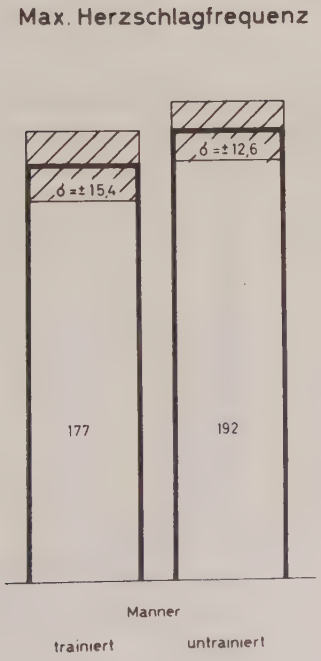

Abb. 6 Vergleichende Darstellung der durchschnittlichen maximalen Herzschlagfrequenz bei ergometrischer Arbeit im Stehen von 11 Hochleistungssportlern und 32 untrainierten Männern.

Eine deutliche Übersicht über die Verhältnisse der maximalen Herzschlagfrequenzen bei erschöpfenden Leistungen ergibt Abbildung 6. Die dargestellten Werte wurden aus der bei jeder Vp höchsten Herzschlagfrequenz errechnet. Gleichzeitig wurde für beide Gruppen der σ -Wert eingezeichnet.

	Trainierte Männer	Untrainierte Männer
Mittelwert Schl/min	177	192
σ-Wert Schl/min	15,4	12,6

Tab. IV Die Mittelwerte der maximalen Herzschlagfrequenz bei trainierten und untrainierten Männern.

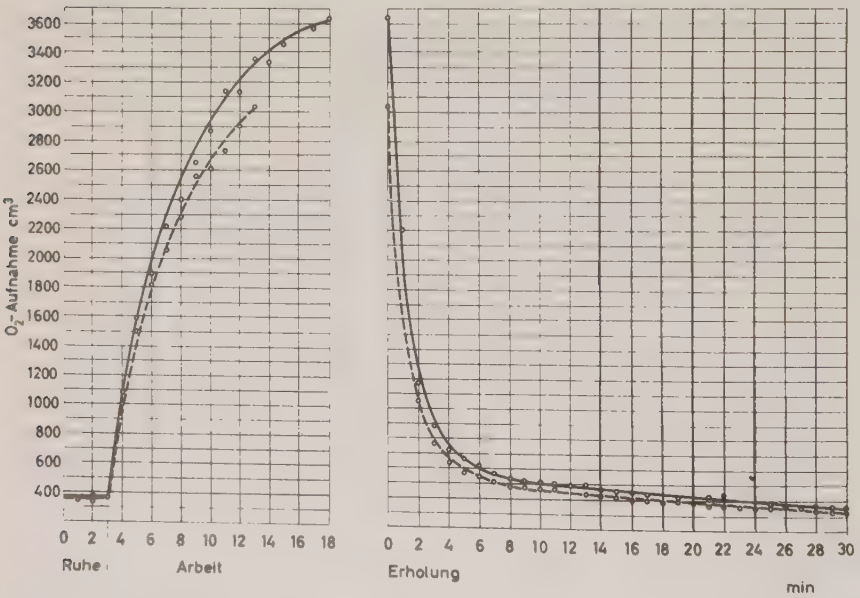

Abb. 7 Das Verhalten der durchschnittlichen Sauerstoffaufnahme bei ergometrischer Arbeit im Stehen in steigenden Wattstufen bis zur individuellen Erschöpfung und während einer anschließenden Erholung von 30 Minuten bei 11 Hochleistungssportlern (——) und 32 untrainierten Männern (----) im Alter von 20 - 40 Jahren.

Unter Ruhebedingungen konnte - wie auch von ARNOLD (1) u. a. Autoren mitgeteilt - kein signifikanter Unterschied bei der Sauerstoffaufnahme zwischen Trainierten und Untrainierten festgestellt werden.

In den ersten Arbeitsminuten - also bei gleicher Leistung - zeigt die Kurve der Trainierten keine wesentlichen Abweichungen zu der der Untrainierten. Jedoch erreichen die Untrainierten eine mittlere maximale Sauerstoffaufnahme von 2723 cm^3/min ($\pm$ 400 cm^3), die Trainierten dagegen einen Mittelwert von 3617 cm^3/min ($\pm$ 500 cm^3).

In den ersten 5 Erholungsminuten liegt die Sauerstoffaufnahme bei beiden Gruppen noch stark über der Ruhe-O_2-Aufnahme; nach weiteren 5 Minuten nur noch 50 - 100 cm^3 höher. Erst nach 30 Minuten haben Trainierte und Untrainierte ihre Ruhewerte fast wieder erreicht.

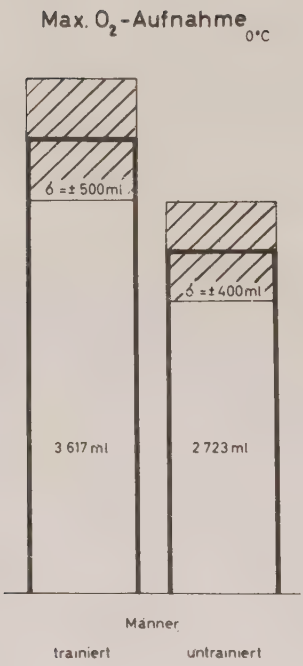

Abb. 8 Vergleichende Darstellung der durchschnittlich maximalen Sauerstoffaufnahme bei ergometrischer Arbeit im Stehen von 11 Hochleistungssportlern und 32 untrainierten Männern.

	Trainierte Männer	Untrainierte Männer
Mittelwert in l	3,6	2,7
σ-Wert in l	0,48	0,4

Tab. V Die Mittelwerte der O_2-Aufnahme in l bei trainierten und untrainierten Männern.

Ein statistischer Unterschied konnte auch hier bei Gegenüberstellung beider Gruppen gesichert werden: Trainierte Männer / Untrainierten Männern $\sigma_{Diff} = 0,156$ ($p < 0,001$).

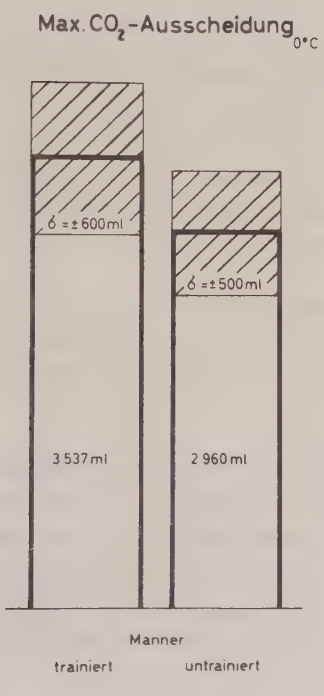

Abb. 9 Vergleichende Darstellung der durchschnittlich maximalen CO_2-Ausscheidung bei ergometrischer Arbeit im Stehen von 11 Hochleistungssportlern und 32 untrainierten Männern.

Die maximale CO_2-Ausscheidung bezieht sich auf den Mittelwert, der aus den individuellen Höchstwerten errechnet wurde.

	Trainierte Männer	Untrainierte Männer
Mittelwert in l	3,5	3,0
σ- Wert in l	0, 55	0,5

Tab. VI Die Mittelwerte der CO_2-Ausscheidung in l bei trainierten und untrainierten Männern.

Nach den oben gemachten Ausführungen haben wir hier einen statistisch gut gesicherten Unterschied: Trainierte Männer / Untrainierten Männern $\sigma_{Diff} = 0,188$ ($p < 0,05$).

Aus unseren Versuchen geht hervor, daß die durchschnittlichen Maximalwerte der CO_2-Ausscheidung bei den untrainierten Männern bei etwas über 3 l lagen, bei den trainierten Männern bei 3,5 l.

Beim Vergleich des durchschnittlichen AZV ist festzustellen, daß von den Untrainierten bei gleicher Leistung stets mehr geatmet wurde. Maximal beträgt der Unterschied in einigen Leistungsstufen durchschnittlich bis zu 8 l. Der durchschnittliche Höchstwert untrainierter Männer beträgt dagegen nur 77 l, der der trainierten Männer 90 l. Allerdings erreichten drei der untrainierten Männer auch Werte über 90 l, und zwar: 93,7; 97,5 und 99,2 l.

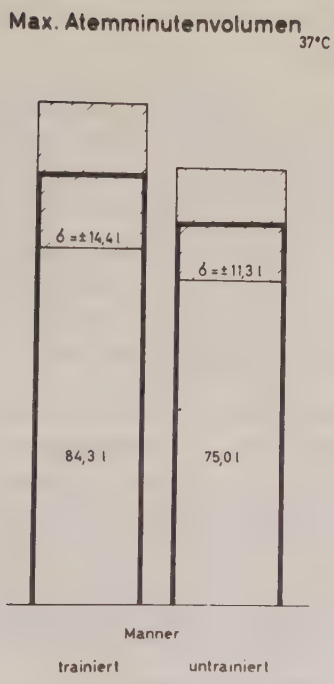

Abb. 10 Vergleichende Darstellung des durchschnittlichen maximalen AMV bei ergometrischer Arbeit im Stehen von 11 Hochleistungssportlern und 32 untrainierten Männern.

	Trainierte Männer	Untrainierte Männer
Mittelwert in l	84,3	75,0
σ-Wert in l	14,4	11,3

Tab. VII Mittelwerte und σ-Wert des maximalen Atemzeitvolumens.

Die der graphischen Darstellung zu Grunde liegenden Werte für die beiden Kollektive sind die Mittelwerte des bei jeder Vp erreichten höchsten AZV.

Die Atemfrequenz wurde während der Ruheminuten und während der Dauer der Arbeit gezählt. Unter Ruhe-Bedingungen lag sie bei beiden Kollektiven zwischen 10 - 14 Atemzügen/min. Mit steigender Leistung stieg auch die Atemfrequenz. Die trainierten Männer konnten im allgemeinen ihre Atemfrequenz um etwa das 4 fache erhöhen. Die Hälfte der Trainierten kam auf maximale Atemfrequenzen von über 40/min. Als höchster Wert wurde dreimal eine Frequenz von 46/min gefunden.

Mit diesen Ergebnissen befinden wir uns in Übereinstimmung mit KOLEY (32), ASTRAND (3) und ROBINSON (44), die für trainierte Männer bei maximaler Leistung eine Steigerung der Atemfrequenz um etwa das 3 - 4 fache gegenüber der Ruhefrequenz fanden.

Für die Berechnung unserer graphischen Darstellung wurde der RQ jeder einzelnen Minute (Ruhe, Arbeit und Erholung) für jede Vp nach folgender Formel berechnet:

$$\text{"Ventilations"-RQ} = \frac{CO_2\text{-Ausscheidung cm}^3\text{ (STPD)}}{O_2\text{-Aufnahme cm}^3\text{ (STPD)}}$$

Für jede Minute wurden dann in jedem Kollektiv die Durchschnittswerte berechnet.

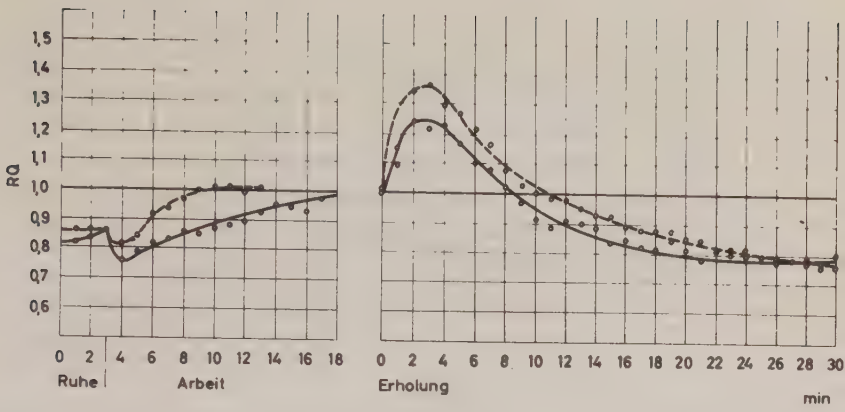

Abb. 11 Das Verhalten des durchschnittlichen RQ bei ergometrischer Arbeit im Stehen in steigenden Wattstufen bis zur individuellen Erschöpfung und während einer anschließenden Erholung von 30 Minuten bei 11 Hochleistungssportlern (——) und 32 untrainierten Männern (----) im Alter von 20 - 40 Jahren.

Die Ruhewerte lagen bei den Trainierten bei 0,81 und bei den Untrainierten bei 0,85. Das entspricht dem Normalwert bei einer gemischten Substratverbrennung. Zu Beginn der Arbeit sinkt der RQ bei den Trainierten auf 0,76, bei den Untrainierten auf 0,8. Bei einem Spitzensportler ist allerdings ein stärkerer Abfall festzustellen: sein RQ sinkt von 0,83 auf 0,68. Dieser Abfall ist durch den schnellen Anstieg der O_2-Aufnahme in der Anlaufsphase der Arbeit bedingt.

Nach der ersten Arbeitsminute beginnt der RQ dann zu steigen. Die Untrainierten erreichen den Wert 1,0 bereits in der 6. und 7. Arbeitsminute, dagegen nähert sich der RQ der Trainierten erst gegen Arbeitsende dem Wert 1. Der Olympiateilnehmer über 800 m hatte am Ende der Arbeit einen RQ von 0,9 bei einer Herzschlagfrequenz von 176.

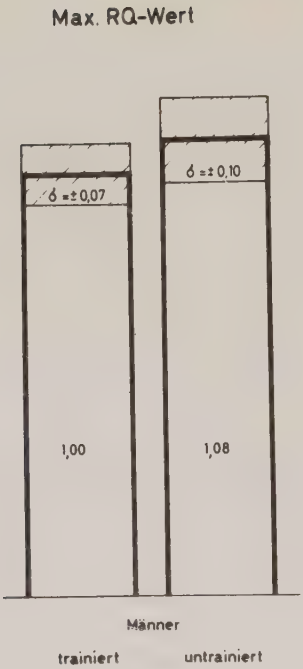

Abb. 12 Vergleichende Darstellung des durchschnittlich maximalen RQ-Wertes bei ergometrischer Arbeit im Stehen von 11 Hochleistungssportlern und 32 untrainierten Männern.

In der 2. und 3. Erholungsminute stieg der RQ bei den Untrainierten auf durchschnittlich 1,35, bei den Trainierten auf 1,24 an. Danach erfolgte für beide Gruppen ein Absinken der Werte. Die Trainierten waren nach 8 Erholungsminuten wieder auf dem Wert 1,0 angelangt, die Untrainierten erst nach 10 Minuten. Nach der 20. Erholungsminute unterschritt der RQ beider Gruppen den Ruhewert. Der Wiederanstieg des RQ auf Ruhewerte, wie er auf Grund zahlreicher Untersuchungen von HERXHEIMER (20,21), KROGH (34), BEST (8), CAMPBELL (11) u. a. nachgewiesen wurde, ist auf unserer Kurve nicht mehr dargestellt.

BEURTEILUNG DER ERGEBNISSE

In seinem Buch "Physiologie der Leibesübungen" führt NÖCKER (40) die Höhe der Sauerstoffschuld mit 18 - 20 l an. Zu diesem Schluß kommt er nach seinen Untersuchungen bei Jugendlichen und Erwachsenen. KNIPPING und HOLLMANN (31) berichten, daß sie bei ihren eigenen Untersuchungen diese extrem hohen Werte nicht bestätigen konnten. Ihr höchster Wert lag bei 16,7 l. HANSEN (17,18) findet bei seinen eigenen Versuchen mit Trainierten am Kroghschen Fahrradergometer und Sauerstoffbestimmung mittels der Douglassackmethode als höchsten Wert 10,7 l. BYKOW (10) kam zu folgenden Ergebnissen:

	I.	II.	III.	IV.
100 m Lauf	13,6 - 15,8 sec	6,5-10,1	18	88 - 94
10 000 m Lauf	41,5 min	22,8	25	15
Schmieden von heißem Eisen	60,0 min	1,9- 3,0	7- 11	60 - 65
Tragen von Säcken	unbestimmt	3,5	9	----

Tab. VIII I. = Zeit
II. = Sauerstoffschuld in Liter
III. = Dauer der Regenerationsperiode in Minuten
IV. = Verhältnis der Sauerstoffschuld zu dem während der Arbeit verbrauchten Sauerstoff in %.

Bei dieser Tabelle ist besonders auf die Berechnung des Verhältnisses der Sauerstoffschuld zu dem während der Arbeit verbrauchten Sauerstoff hinzuweisen. Sie zeigt, daß bei kurzen, schweren erschöpfenden Arbeiten oder Kurzstreckenläufen nur 40 bzw. 6 - 12 % des Sauerstoffbedarfes während der Arbeit abgedeckt werden. Der Rest bleibt als Sauerstoffschuld bestehen.

Vergleichen wir unsere Werte mit denen aus der Literatur, so fällt auf, daß unsere Werte relativ niedrig liegen. Unser höchster Wert wurde von einem trainierten Mann erreicht, er lag bei etwas über 11 Liter.

Welches sind die Ursachen für diesen Unterschied? Wir hatten schon darauf hingewiesen, daß es von großem Einfluß auf die Höhe der Sauerstoffschuld ist, ob die Erholungs-Sauerstoffaufnahme in Beziehung zur Sauerstoffaufnahme vor der Arbeit oder in Beziehung zur Sauerstoffaufnahme bei Grundumsatzbedingungen gesetzt wird. Geht man von der Ruhe-O_2-Aufnahme unter "Leistungs-Umsatzbedingungen" aus, erhält man naturgemäß kleinere Werte der O_2-Schuld. Es erscheint nicht gerechtfertigt, bei der Berechnung der O_2-Schuld von dem O_2-Verbrauch unter Grundumsatzbedingungen auszugehen, da sie für den Leistungsversuch und seine Bedingungen nicht zutreffen. Körperliche Höchstleistungen von Grundumsatzbedingungen ausgehend zu fordern, ist unzweckmäßig.

Wenn bei einem Menschen von ca. 70 kg Körpergewicht der Grundumsatz mit 1 kcal/kg/h angenommen wird, so beträgt sein O_2-Verbrauch ca. 14,0 l/h bzw. 0,23 l/min. Der Ruheumsatz eines Menschen (Lesen, sitzend am Tisch) beträgt dagegen nach THÖRNER (52) 1,25 kcal/kg/h. Errechnet man aus diesem, sehr niedrig angenommenen Wert den O_2-Verbrauch/min, beträgt er bereits 0,27 l. Da sich die Messung der O_2-Schuld über eine Zeit von 30 Minuten erstreckte, geht in die Messung je nachdem, ob von Grundumsatz- oder Ruhebedingungen ausgegangen wird, bereits eine Differenz von 1,2 l in die Messung ein.

In den o.g. Arbeiten finden sich keine Angaben, auf welche Temperatur und Druckverhältnisse die angegebenen Werte umgerechnet wurden. Es ist jedoch unerläßlich, die gefundenen Werte auf STPD-Bedingungen umzurechnen, da hierdurch erst eine generelle Vergleichbarkeit der von den einzelnen Autoren erzielten Untersuchungsergebnisse möglich wird.

Wenn die genannten Autoren die von ihnen angegebenen Werte für die O_2-Schuld gar nicht oder auf BTPS-Bedingungen umgerechnet haben, ergibt sich eine weitere erhebliche Diskrepanz in der Größe der O_2-Volumina. Die höchste O_2-Schuld betrug in unseren Untersuchungen rund 11 l (STPD). Bei einer Umrechnung auf BTPS findet man selbst unter günstigsten Bedingungen - 760 mm Hg, 20° C - ein O_2-Volumen von 13,5 l. Rechnet man die Differenz hinzu, die zwischen Grundumsatz- und Ruhebedingungen entsteht, so ergibt sich bereits ein Wert von 14,7 l. Dieser Wert würde dem in der Literatur angegebenen in etwa entsprechen. Werden Gasvolumina unter STPD-Bedingungen angegeben, müssen sie je nach den äußeren Bedingungen um 20 - 25% erhöht werden, um BTPS-Werte zu erhalten.

Alle Autoren geben für den trainierten Organismus eine größere maximale Sauerstoffschuld als für den untrainierten an. Wir kamen zu den gleichen Ergebnissen. Hierfür sollen einige ursächliche Momente angeführt werden.

Als hauptverantwortlich für den ganzen Vorgang der Entstehung der Sauerstoffschuld wurde der arbeitende Muskel genannt. In ihm häufen sich unter ständigem Anwachsen der Sauerstoffschuld die sauren Stoffwechselprodukte. Vergleicht man einen 70 kg schweren untrainierten Organismus mit einem 70 kg schweren trainierten Organismus bei gleicher Größe und gleichem Konstitutionstyp, dann ist die Muskelmasse des Trainierten verhältnismäßig größer. Bei einer gleichen Menge von anaerob entstandenen sauren Stoffwechselprodukten, die das Aufnahmevermögen des untrainierten Muskels schon erschöpft hat, steht dem trainierten Muskel noch eine "Reserve" zur Verfügung.

Der Trainierte hat auch unter Arbeitsbedingungen ein größeres Herzzeitvolumen (30,47,27), wodurch der O_2-Antransport zur Muskulatur und der Abtransport saurer Stoffwechselprodukte wesentlich begünstigt wird. Außerdem kann die Muskulatur des Trainierten auch einen viel stärkeren Säuregrad ertragen. Schließlich dürfte auch das beim Trainierten meist erhöhte Standard-Bi-

carbonat mit dazu beitragen, daß seine Muskulatur eine größere Menge saurer Stoffwechselprodukte puffern kann und dementsprechend eine höhere O_2-Schuld einzugehen vermag.

BALKE (5) bezeichnet in Ausführungen über den von ihm geprägten Begriff der "optimalen Arbeitskapazität" die Pulsfrequenz von 180/min als Grenzwert. Bei seinen Untersuchungen an der Tretbahn bei 14 Vp stellte er fest, daß bei Erreichen der Pulsfrequenz von 180/min auch der RQ gerade den Wert 1,0 zu überschreiten begann. Bei unseren untrainierten Männern konnten wir die gleiche Feststellung machen. Allerdings stiegen bei einigen wenigen unserer männlichen Vp die Herzschlagfrequenzen in der Endphase der Arbeit auf Werte von 210 - 220 Pulsschläge/min. Das kann man als Beweis ansehen, daß sich unsere Probanden wirklich bis zur Grenze ihrer Leistungsfähigkeit angestrengt hatten (2,4,49).

Es finden sich unterschiedliche theoretische Auffassungen über den Zeitpunkt, bei dem der RQ während der Arbeit den Wert 1 erreicht. So ist BIERRING (9) der Meinung, daß der RQ den Wert 1 während der Arbeit überhaupt nicht erreicht. CHRISTENSEN (12) macht bereits einen Unterschied zwischen Trainierten und Untrainierten. ROBINSON (43) sieht bei seinen maximalen Versuchen ein Ansteigen des RQ auf 0,99.

Die Mehrzahl der Untersucher spricht sich aber doch dafür aus, daß bei maximalen Arbeitsversuchen der Wert 1 erreicht und erheblich überschritten werden kann (5,18,19,33,34,35). Nach ROSSIER (45) soll der RQ bei einer Ruhespirometrie zwischen 0,74 und 0,9 liegen. Diese Bedingungen waren bei unseren Untersuchungen gegeben.

Bei den untrainierten Männern erreichte der RQ zwischen der 6. und 7. Arbeitsminute den Wert 1,0. Bei den trainierten Männern schwankte der RQ in der letzten Arbeitsminute zwischen 0,86 - 1,12. Er betrug im Mittel 0,97.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Es wurden vergleichende Untersuchungen über die maximale O_2-Schuld bei ergometrischer Leistung an trainierten und untrainierten männlichen Versuchspersonen durchgeführt. Dabei fanden sich folgende Ergebnisse:

1. An 32 20 - 40 jährigen, gesunden untrainierten Männern wurde nach maximaler ergometrischer Handkurbelarbeit unter Leistungsumsatzbedingungen mit standardisierter Methodik eine mittlere maximale O_2-Schuld von 6500 cm^3 ($\pm$ 1000 cm^3) gemessen.
2. An 11 20 - 40 jährigen, gesunden trainierten Männern wurde nach maximaler ergometrischer Handkurbelarbeit unter Leistungsumsatzbedingungen mit standardisierter Methodik eine mittlere maximale O_2-Schule von 7600 cm^3 ($\pm$ 1700 cm^3) gemessen.
   Die Differenz der O_2-Schuld von untrainierten und trainierten Männern ist statistisch signifikant ($p < 0,05$).
3. Vergleichend sind auch bei den untrainierten und trainierten Männern gemessen worden: die maximale Herzschlagfrequenz, die maximale O_2-Aufnahme, das maximale Atemzeitvolumen, die maximale CO_2-Abgabe und der respiratorische Quotient. Statistisch signifikant sind die Differenzen der O_2-Aufnahme ($p < 0,001$), sowie die Herzschlagfrequenzen ($p < 0,02$). Statistisch ausreichend signifikant sind die Differenzen von CO_2-Abgabe, von Atemzeitvolumen und respiratorischem Quotienten ($p < 0,05$).

Aus den Untersuchungen geht hervor, daß die auf STPD-Bedingungen reduzierte maximale Sauerstoffschuld kleiner ist, als allgemein angegeben wird. Dabei waren die allgemein verwendeten Kriterien für die Erreichung der Leistungsgrenze (Herzschlagfrequenz, maximale Sauerstoffaufnahme und RQ) erfüllt.

VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN

Vp	=	Versuchsperson
HF	=	Herzschlagfrequenz
VK	=	Vitalkapazität
RQ	=	Respiratorischer Quotient
AZV	=	Atemzeitvolumen
STPD	=	Standardtemperatur (0° C), Standarddruck (760 mm Hg), trocken
BTPS	=	Körpertemperatur (body temperature), Gasdruck im Organismus, mit Wasserdampf gesättigt (saturated)

VIII. LITERATUR

1) Arnold, A.: Lehrbuch der Sportmedizin, Johann Ambrosius Barth Verlag, Leipzig 1956

2) Astrand, I.: Aerobic Work Capacity in Men and Women with special Reference to Age. Act. physiol. Scand. 49 (suppl. 169) 1960

3) Astrand, P.O.: Experimental Studies of physical Working Capacity in Relation to Sex and Age. E. Munksgaard, Copenhagen 1952

4) Astrand, P.O. and B. Saltin: Maximal Oxygen Uptake and Heart Rate in various Types of muscular Activity J. appl. physiol. 16, 977 (1961)

5) Balke, B.: Optimale körperliche Leistungsfähigkeit; ihre Messung und Veränderung infolge Arbeitsermüdung. Arb. physiol. 15, 311 (1954)

6) Bartels, H., Bücherl, E., Hertz C.W., Rodewald, G., Schwab, M.: Lungenfunktionsprüfungen. Springer Verlag, Berlin - Göttingen - Heidelberg 1959

7) Berkowitsch, E. und Simonson, E.: Arbeitsdauer und Wirkungsgrad. Arb. physiol. 8, 551 (1935)

8) Best, C.H., Furusawa, K. and Hill, F.R.S.: The Respiratory Quotient of the Excess Metabolism of Exercise. Proc. Roy. Soc. London 104, 119 (1929)

9) Bierring, E.: The Respiratory Quotient and the Efficiency of moderate Exercise. Arb. physiol. 5, 17 (1932)

10) Bykow, K.M.: Lehrbuch der Physiologie. VEB Verlag Volk und Gesundheit. Berlin 1960

11) Campbell, J.M.H., Gordon, C.D. and Hobson, F.G.: The Respiratory Exchange of Man during and after Muscular Exercise. Phil. Trans. Roy. Soc. London B 210, 1 (1921)

12) Christensen, E.H.: Der Stoffwechsel und die respiratorischen Funktionen bei schwerer körperlicher Arbeit. Arb. physiol. 5, 463 (1932)

13) Christensen, E.H. and Högberg, P.: The Efficiency of anaerobical Work.
Arb. physiol. 14, 249 (1949-52)

14) Christensen, E.H. and Högberg, P.: Steady State, O_2-Deficit and O_2-Debt at severe Work.
Arb. physiol. 14, 251, (1949-52)

15) Crowden: zitiert bei (7)

16) Dransfeld, B. und Mellerowicz, H.: Der Sauerstoffpuls während einer Leistung von 1 Watt/kg Körpergewicht.
Training, Leistung, Gesundheit 1958

17) Hansen, E.: Zum Vergleich des Energieumsatzes beim Radfahren und beim Treppensteigen.
Arb. physiol. 7, 299 (1934)

18) Hansen, E.: Über die Sauerstoffschuld bei körperlicher Arbeit.
Arb. physiol. 8, 151 (1935)

19) Henderson, Y. and Haggard, H.W.: The Maximum of Human Power and its Fuel.
Amer. J. Physiol. 72, 264 (1925)

20) Herxheimer, H. und Kost, R.: Über den Sauerstoffverbrauch bei leichter und schwerer Muskelarbeit.
Zschr. klin. Med. 110, 1 (1929)

21) Herxheimer, H.: Grundriß der Sportmedizin.
Leipzig 1932

22) Herxheimer, H.: Zur Frage des Wirkungsgrades bei "steady-state" Arbeit von wechselnder Dauer.
Arb. physiol. 8, 801 (1935)

23) Hill, A.V. and Lupton, H.: Muscular Exercise, Lactic Acid, and the Supply and Utilization of Oxygen.
Quart. J. Med. 16, 135 (1922/23)

24) Hill, A.V., Long, C.N.H. and Lupton, H.: Muscular Exercise, Lactic Acid, and the Supply and Utilization of Oxygen.
Proc. Roy. Soc. London
B 96, 438 (1924)

25) Hill, A.V., Long, C.N.H. and Lupton, H.: Muscular Exercise, Lactic Acid, and the Supply and Utilization of Oxygen.
Proc. Roy. Soc. London
B 97, 84 (1925)

26) Hill, A.V.: The physiological Basis of Athletic Records.
Lancet 209, 481 (1925)

27) Hohngren, A., Mossfehldt, F., Sjöstrand, T. and G. Ström: Effect of Training on Work Capacity, total Hemoglobin, Blood Volume, Heart Volume, and PulseRate in recumbent and upright Position.
Act. physiol. Scand. 50, 72 (1960)

28) Hollmann, W.: Der Arbeits- und Trainingseinfluß auf Kreislauf und Atmung.
Dr. Dietrich Steinkopff Verlag, Darmstadt 1959

29) Joss, E.E.: Spiroergometrie bei Gesunden.
Inaugural Dissertation, Bern 1958

30) Kjellberg, S.R., Ruhde, U. and Sjöstrand, T.: The Amount of Hemoglobin (Blood Volume) in Relation to the Pulse Rate and Heart Volume during Work.
Act. physiol. Scand. 19, 152 (1950)

31) Knipping, H.W. und Hollmann, W.: in Heiss, F.: "Praktische Sportmedizin".
F. Enke Verlag, Stuttgart 1960

32) Koley, F.: Über die Beziehungen zwischen Herzrhythmus und Atmung.
Inaugural Dissertation, Basel 1917

33) Krogh, A. and Lindhard, J.: The Regulation of Respiration and Circulation during the initial Stages of Muscular Work.
J. of Physiol. 47, 112 (1913/14)

34) Krogh, A. and Lindhard, J.: The Changes in Respiration at the Transition from Work to Rest.
J. of Physiol. 53, 431 (1919/20)

35) Liljestrand, G. und Lindhard, J.: Gaswechseluntersuchungen beim Gehen, Laufen, Eis- und Skilaufen, Schwimmen und Rudern.
Skand. Arch. f. Physiol. 39, 167 (1920)

36) Mellerowicz, H. und Galle, L.: Vergleichende Untersuchung kardialer und pulmonaler Funktionen bei maximaler Arbeit am Ergometer im Stehen, Sitzen und Liegen.
Der Sportarzt, 10, 332 (1962)

37) Mellerowicz, H. und Lerche, D.: Ergometrische Untersuchungen zur Beurteilung der kardialen und körperlichen Leistungsfähigkeit bei Kindern und Jugendlichen.
Zschr. Kinderheilk. 81, 36 (1958)

38) Mellerowicz, H., Reindell, H., Hollmann, W., Klaus, E.J., Mies, H. und Roskamm, H.: Vorschläge zur Standardisierung der ergometrischen Leistungsmessung. Zschr. Kreisl. Forschg. 50, 273 (1961)

39) Meyerhof, O.: Die chemischen Vorgänge im Muskel und ihr Zusammenhang mit Arbeitsleistung und Wärmebildung. Julius Springer, Berlin 1930

40) Nöcker, J.: Physiologie der Leibesübungen. F. Enke Verlag, Stuttgart 1964

41) Pasargiklian, M., Cornia, G. und de Matteis, M.: Experimentelle Untersuchung über die Bedeutung der spirographischen Ruhewerte als Zeichen der Atemfunktion bei Lungenkranken. Beitr. klin. Tuberk. 117, 397 (1957)

42) Rein, H. und Schneider, M.: Einführung in die Physiologie des Menschen. Springer Verlag, Berlin - Göttingen - Heidelberg 1960

43) Robinson, S., Edwards, H.T. and Dill, D.B.: New Records in Human Power. Science 85, 409 (1937)

44) Robinson, S.: Experimental Studies of physical Fitness in Relation to Age. Arb. physiol. 10, 251 (1939)

45) Rossier, P.H., Bühlmann, A. und Wiesinger, K.: Physiologie und Pathophysiologie der Atmung. Springer Verlag, Berlin - Göttingen - Heidelberg 1958

46) Rudolph, G.: Stoffwechsel und körperliche Leistung in: Groh, H. "Sportmedizin". F. Enke Verlag, Stuttgart 1962

47) Schmidt, H.A.E., Musshof, K., Reindell, H. et al: Die Beziehungen zwischen Blutvolumen, Herzvolumen und körperlicher Leistung. Kreisl. Forschg. 51, 165 (1962)

48) Schneider, E.C. and Karpovich, P.V.: Physiology of Muscular Activity. Philadelphia 1948, W.B. Saunders Company

49) Schwarz, H.G.: Das Verhalten der Pulsfrequenz jugendlicher und junger Arbeiter während submaximaler und maximaler Arbeit. Zbl. f. Arbeitsmed. und Arbeitssch. 13, 267 (1963)

50) Simonson, E. und Sirkina, G.: Arbeitsdauer und Wirkungsgrad.
Arb. Physiol. 8, 560 (1935)

51) Sjöstrand, T.: Svenska läkartidn. 7, 349 (1950)

52) Thörner, W.: Biologie der Leibeserziehung.
F. Dümmlers Verlag, Bonn 1951

53) Wahlund, H.: Determination of physical Working Capacity, physiological and clinical Study with special Reference to Standardisation of cardio-pulmonary functional Tests.
Act. med. Scand. 132, (suppl. 215), 1 (1948)

LEBENSLAUF

Ich wurde am 1.11.1927 als Tochter des Pfarrers Wilhelm Helbing und seiner Ehefrau Dr. med. Käte Helbing geb. Busse in Frankfurt/Oder geboren. Von 1934 bis 1938 besuchte ich die Volksschule, anschließend bis 1947 die Lily-Braun-Schule in Berlin-Spandau. 1947 legte ich dort das Abitur ab. Von 1947 - 1949 war ich bei einer englischen Behörde als Dolmetscherin angestellt.

Von 1949 - 1955 studierte ich Medizin an der Friedrich-Alexander Universität in Erlangen. Dort bestand ich 1955 das medizinische Staatsexamen mit "gut". Seit 1955 bin ich beim Senat Berlin als Assistenzarzt angestellt. 1962 wurde mir der Facharzt für Kinderheilkunde zuerkannt.